

PENGARUH PROSES *NORMALIZING* TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN LAS *THERMITE* BAJA NP-42

*Adhityo Sarwo Nugroho¹, Gunawan Dwi Haryadi², Agus Tri Hardjuno³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

³Staff UPT Lab Terpadu Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: Adhityosarwonugroho@gmail.com

ABSTRAK

Sambungan pada rel kereta api atau disebut baja NP-42 merupakan salah satu faktor penting dalam kenyamanan perjalanan kereta api. Oleh karena itu dibutuhkan metode penyambungan yang tepat untuk mencegah terjadinya kecelakaan yang disebabkan oleh berbagai faktor. Metode yang digunakan dalam penyambungan baja NP-42 yaitu dengan proses pengelasan thermite.

Hasil pengelasan dari kedua sisi bahan baja NP-42 menghasilkan tiga daerah utama yaitu daerah logam dasar (*base metal*), daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone - HAZ*), dan daerah logam las (*weld metal*). Dalam proses pengelasan *thermite*, bagian sambungan yang di las menerima panas pengelasan setempat dan selama proses berjalan suhunya terus berubah sehingga distribusi menjadi tidak merata. Karena panas tersebut, maka pada bagian terjadi pengembangan *thermal*, sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbentuk penghalang pengembangan yang menyebabkan terjadinya peregangan. Akibat peregangan ini akan timbul tegangan tetap yang disebut tegangan sisa.

Dari pengujian yang telah dilakukan diketahui bahwa adanya penyetaraan nilai kekerasan dari *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal* yang disebabkan adanya pengaruh *post weld heat treatment normalizing*. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah *base metal* terletak pada temperatur 850 °C, kekerasan tertinggi pada daerah *HAZ* terletak pada temperatur 850°C, dan kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* terletak pada temperatur 825 °C.

Kata Kunci: normalizing, pengelasan thermite, NP-42

ABSTRACT

The connection on the railroads or steel is referred to as the NP-42 was one of the important factors in the comfort of a train trip. It is therefore an appropriate connection method is needed to prevent the occurrence of an accident caused by a variety of factors. The methods used in the connecting steel NP-42 the Thermite welding process.

Welding results from both sides of the steel material of the NP-42 produced three main areas, namely areas of base metal, Heat Affected Zone-HAZ, and weld metal. In the process of welding thermite welded connections part, receive local welding and heat during the process of running the temperature keeps changing so that distribution became uneven. Because of the heat, and in the case of thermal expansion, whereas the cold does not change so as to form a barrier which led to the development of the stretch. This stretch will arise as a result of voltage remains the voltage called leftovers.

From the testing that has been done it is known that the presence of a hard value of base metal, HAZ and weld metal due to the influence of post weld heat treatment normalizing. The value of the highest violence on the base metal is at a temperature of 850 ° C, the highest in the region of HAZ hardness is at the temperature of 850 ° C, and the highest violence on the weld metal is situated on 825 ° C temperature.

Key Word : normalizing, welding thermite, NP-42.

1. PENDAHULUAN

Suatu alternatif teknik penyambungan yang banyak digunakan dewasa ini adalah pengelasan, yang merupakan suatu proses penggabungan dua logam sejenis maupun lain jenis. Dengan teknik ini diharapkan kekuatan logam hasil pengelasan minimum sama dengan kekuatan logam induknya. Hasil pengelasan banyak digunakan dalam bidang industry dan memiliki banyak keuntungan dibandingkan teknik penyambungan lain seperti keling atau mur-baut, antara lain dari segi teknis, pengelasan memiliki banyak variasi posisi pengelasan dan pengoperasian. Selain itu lebih cepat dan singkat dari segi ekonomi [1].

Salah satu penerapan metode pengelasan saat ini adalah pengelasan *thermite* yang merupakan pengembangan dari proses pengelasan yang umum dilakukan. Penerapannya terutama dalam bidang yang besar seperti rail crane, rel kereta api, gear yang besar, atau patahan pada komponen-komponen peralatan yang ukurannya besar, ataupun perbaikan instalasi rel kereta api. Namun di Indonesia sendiri masih jarang digunakan. Pengelasan *thermite* adalah reaksi eksotermik antara aluminium dan besi oksida yang menghasilkan baja lebur yang kemudian dituangkan ke dalam suatu cetakan yang akan di-las.

Hasil pengelasan dari kedua sisi bahan baja rel menghasilkan tiga daerah utama yaitu daerah logam dasar (*base metal*), daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone - HAZ*), dan daerah logam las (*weld metal*). Dalam proses pengelasan *thermite*, bagian sambungan yang di las menerima panas pengelasan setempat dan selama proses berjalan suhunya terus berubah sehingga distribusi menjadi tidak merata. Karena panas tersebut, maka pada bagian terjadi pengembangan *thermal*, sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbentuk penghalang pengembangan yang menyebabkan terjadinya peregangan. Akibat peregangan ini akan timbul tegangan tetap yang disebut tegangan sisa.

Tujuan Penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat sambungan baja NP-42 sebelum mendapatkan perlakuan *normalizing*. Serta mengetahui harga kekerasan serta analisa peninjauan dari struktur mikro sambungan las *thermite* baja NP-42 tanpa perlakuan *normalizing* dan dengan perlakuan *normalizing* pada suhu 775°C, 800°C, 825°C dan 850°C pada bagian base metal, *haz* dan weld metal.

2. BAHAN DAN PERALATAN PENGUJIAN

2.1 Bahan Uji

Pengelasan dilakukan di PT. Dwi Tunggal Karya, perusahaan rekanan PT. KAI yang bekerja dalam bidang konstruksi rel kereta api untuk daerah jalur rel selatan. Proses pengelasan dilakukan oleh operator las (*Welder*), yang memiliki sertifikat pengelasan yang dikeluarkan oleh BKI (Biro Klasifikasi Indonesia).



Gambar 1. Baja NP-42

Baja NP-42 termasuk dalam baja karbon menengah karena mengandung karbon 0,6 %. Baja NP-42 termasuk baja *hypoeutectoid*. Baja *hypoeutectoid* mengandung karbon dengan kadar kurang daripada komposisi *eutectoid*, yaitu 0,77% [2]. Kandungan yang paling banyak terdapat pada baja NP-42 yaitu besi 97,56%, mangan 0,81%, karbon 0,6 %. Baja jenis ini mempunyai banyak karbon dan unsure lain yang dapat memperkeras baja[3].

2.1.1 Pengelasan

Pengelasan adalah penyambungan dua buah logam padat dengan mencairkannya melalui pemanasan. Persyaratan berhasilnya penyambungan adalah :

- Bahwa benda padat tersebut dapat cair saat dipanaskan.
- Bahwa antara benda padat tersebut ada kesesuaian sifat lasnya sehingga tidak melemahkan kekuatan sambungan.
- Bahwa cara sambungan harus sesuai dengan sifat benda yang disambung. Pengelasan dilakukan untuk menyambung dua bagian logam menjadi satu, tanpa mengurangi kekuatan & bentuk dari material logam tersebut. Selain itu, pengelasan cukup ekonomis & efisien karena cara penyambungannya dengan cara tetap, artinya tidak mudah untuk melepas atau membongkar kembali. Dalam praktek, proses pengelasan sangat banyak ragamnya demikian pula dengan bentuk sambungan yang akan di las, jenis kampuh manik las (*weldment*) dan posisi pengelasan yang akan dilakukan [4].

Daerah las-lasan terdiri dari tiga bagian yaitu: daerah logam las, daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ), dan logam induk yang tak terpengaruhi panas.

- Logam lasan.

Logam Lasan adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Logam yang membeku harus menyatukan komponen atau bagian yang disambungkan dan membentuk komponen yang kontinu. Logam lasan akan terjadi dari campuran beberapa bahan yang diperoleh dari logam pengisi (*filler metal*), logam induk atau juga dari fluks (untuk jenis las dengan menggunakan busur listrik), karena fluks biasanya terdiri dari bahan-bahan tertentu dengan perbandingan yang tertentu pula. Agar diperoleh sambungan yang kontinu diperlukan sebagian dari

logam induk (bagian yang akan disambung) turut mencair sehingga terjadi pencampuran logam cair tersebut, hal ini disebut proses dilusi [5].

b. Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ).

Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan las. Secara visual daerah yang dekat dengan garis lebur las maka susunan struktur logamnya semakin kasar [6].

c. Logam induk yang tak terpengaruhi panas.

Logam induk adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah pengaruh panas, yang disebut batas las [6].

2.1.2 Pengelasan Thermite

Pengelasan thermite adalah reaksi eksotermik antara aluminium dan besi oksida yang menghasilkan baja lebur yang kemudian dituangkan ke dalam suatu cetakan yang akan dilas. Penemunya adalah Hans Goldschmidt di Essen Jerman pada tahun 1895. Awal mulanya dia sedang melakukan percobaan laboratorium untuk mengurangi unsure besi krom dan mangan. Kemudian dia menemukan cara untuk mengurangi kedua unsur logam tersebut, yaitu suatu metode yang aman dengan pembakaran bubuk aluminium yang panasnya bisa digunakan untuk mengubah besi oksida menjadi baja cair [7].

Proses pembakaran reaksi thermite untuk mengubah bubuk thermite menjadi baja cair hanya membutuhkan waktu sekitar 25 – 30 detik. Baja yang mulai mencair akan turun ke bawah masuk ke dalam cetakan yang sebelumnya sudah disiapkan untuk penyambungan dua buah komponen atau patahan dari suatu komponen [8].

Las thermit adalah penyambungan / las antara dua batang rel melalui suatu reaksi kimia dengan menggunakan termit (besi oksida dengan bubuk aluminium). Metode ini dilaksanakan dengan bahan yang sederhana dan menghasilkan sambungan yang baik.

Reaksinya seperti berikut:

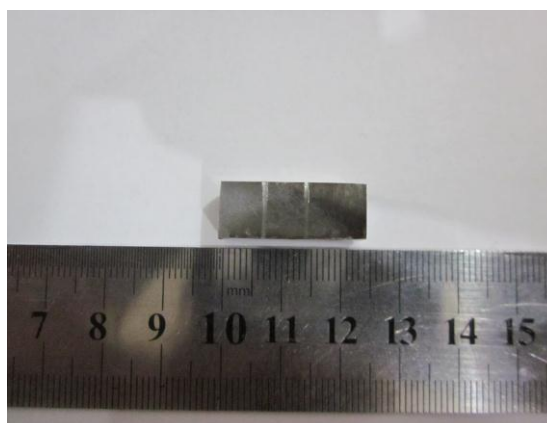


Produk yang dihasilkan ini adalah aluminium oksida, membebaskan unsur besi (berupa besi cair), dan membebaskan sejumlah besar panas. Reaktan yang biasa digunakan adalah berupa bubuk dan dicampur dengan bahan untuk menyimpan bahan yang padatan dan mencegah pemisahan [9].

2.2 Peralatan Uji

2.2.1 Heat Treatment

Dalam proses *heat treatment* ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro, alat yang digunakan adalah *Furnace Chamber* HOFFMAN TYPE KL. Persiapan spesimen telah dilakukan, yaitu dengan melakukan reparasi pemotongan spesimen yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Spesimen baja NP-42.



Gambar 3. Furnace Chamber HOFFMAN TYPE KL.

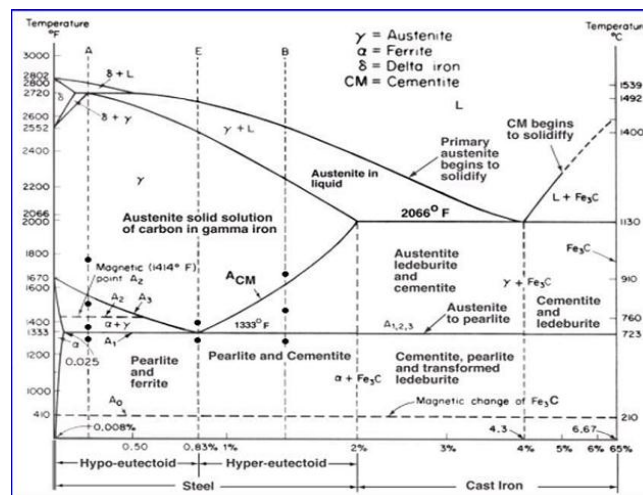
Perlakuan panas atau *Heat-treatment* dapat didefinisikan suatu kombinasi proses pemanasan dan pendinginan logam/ paduannya dalam keadaan padat secara terkontrol. Tujuannya adalah mempersiapkan material logam sebagai produk setengah jadi agar layak diproses lanjut untuk meningkatkan umur pakai material logam sebagai produk jadi. Pertimbangan lain, dengan biaya perlakuan panas yang relatif rendah, umur pemakaian komponen akan lebih lama. Secara umum, proses perlakuan panas adalah sebagai berikut :

- Memanaskan logam / paduannya sampai suhu tertentu dengan kecepatan tertentu, (*Heating-temperature*).
- Mempertahankan pada temp. pemanasan tersebut dalam waktu / tempo tertentu, (*Holding time*).
- Mendinginkan dengan media pendingin dan laju tertentu [10].

2.2.2 Normalizing

Normalizing adalah bagian dari proses *heat treatment*. Memanaskan baja dengan suhu 40°C - 50°C diatas kritikal temperature (A_3 atau A_{cm}), ditahan selama beberapa waktu, dan didinginkan di suhu udara kamar normal. Dan setelah mendapat perlakuan *normalizing*, hasil dari mikro struktur menjadi pearlitic[11]. Material terutama *carbon steel* akan mengalami perubahan struktur dan *grain size* karena efek dari pemanasan dan pendinginan akibat dari proses pengelasan. Struktur yang tidak homogen ini menyimpan banyak tegangan sisa yang membuat material tersebut memiliki sifat yang lebih keras namun ketangguhannya lebih rendah. Untuk mengembalikan kepada sifat yang diinginkan terutama dalam ketangguhannya maka struktur yang berubah tadi dikembalikan lagi ke struktur yang semula melalui pemanasan pada waktu tertentu dan dalam jangka waktu tertentu pula, tergantung dari jenis materialnya[12].

Diagram Fe-Fe₃C adalah diagram kesetimbangan unsure besi dengan fasa *cementite* (Fe₃C). Awal untuk memahami proses perlakuan baja terlebih dahulu dalam penelitian ini harus memahami diagram kesetimbangan Fe-Fe₃C yang berfungsi untuk melihat reaksi-reaksi dari fase pembentukan yang terjadi, seperti dilihat pada Gambar 4 [13].



Gambar 4. Diagram Fe-Fe₃C [14].

Unsur karbon dalam baja dapat berupa grafit yakni karbon dalam bentuk yang stabil atau bebas sehingga dinamakan system paduan Fe-C yang stabil, dapat pula berupa senyawa interstiti atau sementit yakni suatu struktur yang metastabil dan system paduannya dinamakan system paduan Fe-C yang metastabil [13].

2.2.3 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan mikro dan distribusi kekerasan menggunakan mikro Vickers dengan standar ASTM E 384. Tujuan pengujian kekerasan mikro Vickers ini adalah untuk menguji struktur mikro dan kekerasan permukaan yang dapat dicapai. Nilai kekerasan sering diartikan sebagai kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan sesuatu mengenai kekuatan dan perlakuan panas dari suatu logam [15].

Metode ini mirip dengan metode Brinell, tetapi penetrator yang digunakan berupa intan berbentuk piramida dengan dasar bujur sangkar dan sudut puncak 136° . Beban yang digunakan biasanya antara 1 s/d 120 kg. Kedua diagonal diukur pada kaca pembesar kemudian diukur rata-ratanya [16].

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \dots \dots \dots (2)$$

$$HV = 1,854 \frac{P}{L^2} \dots \dots \dots (3)$$

dimana:

P = beban yang diterapkan

L = panjang diagonal rata-rata

Pengujian kekerasan dilakukan di laboratorium Bahan Teknik Program Diploma Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada, Metode yang digunakan dalam pengujian ini menggunakan metode Mikro Vikers.



Gambar 5. Alat uji kekerasan vickers.

Adapun langkah – langkah persiapan dalam melakukan pengujian kekerasan adalah sebagai berikut:

- a. Pemotongan
- b. Tujuan pemotongan spesimen adalah untuk mendapatkan bidang permukaan logam daerah induk sehingga bisa membedakan nilai kekerasan.
- c. Mounting
- d. Tujuan dari mounting karena kecilnya spesimen potongan uji, sehingga butuh bantalan tambahan untuk mendapatkan luas penampang yang lebih lebar. Dengan menggunakan resin dan campuran pengerasnya.
- e. Penggerindaan
- f. Tujuan dari grinding ini untuk menghilangkan kerusakan – kerusakan yang ditimbulkan pada proses pemotongan dan proses heat treatment sebelumnya. Pada tahap ini benda uji yang telah dicetak mounting dihaluskan dengan amplas sampai dapat permukaan yang halus dan rata. Amplas yang digunakan adalah grid 150, 400, 500, 800 dan terakhir dengan ukuran 1500.
- g. Pemolesan (Polishing)
- h. Proses ini bertujuan untuk mendapatkan permukaan yang bebas dari goresan yang dapat menghalangi pengujian dan untuk mendapatkan permukaan yang mengkilat seperti cermin.
- i. Uji kekerasan Mikro Vickers menggunakan standar ASTM E 384, dengan pembebanan 200 gr. Hasil pengujian berupa angka kekerasan vikers (VHN).

2.2.4 Uji Metalografi

Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui fasa-fasa apa saja yang terdapat dalam material. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan *stereo microscope*. Mikroskop optik, atau yang sering disebut juga sebagai "mikroskop cahaya" adalah salah satu jenis mikroskop yang menggunakan cahaya dan sebuah sistem lensa untuk memperbesar gambar spesimen yang kecil. Mikroskop optik dasar sangat sederhana, meskipun ada banyak desain lain yang kompleks yang bertujuan untuk meningkatkan resolusi dan kontras dari spesimen [17].

Adapun bentuk spesimen yang akan siap di uji struktur mikro. Spesimen tersebut ditunjukkan pada Gambar 6 dan alat uji metalografi ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Spesimen pengujian baja NP-42 Setelah di *mounting*.



Gambar 7. Alat uji metalografi

Prosedur Pengujian Metalografi untuk pengamatan struktur mikro dapat dilakukan dengan langkah – langkah pengujian sebagai berikut :

- Spesimen yang telah dipotong kemudia di beri mounting sehingga diperoleh benda uji, benda uji diberi kode untuk mempermudah proses pengamatan.
- Permukaan spesimen yang akan diamati harus bersih, kering, dan telah mengalami proses pemolesan (*polishing*) dengan menggunakan amplas sampai tahapan amplas 2000, kemudian autosol untuk mendapatkan spesimen yang rata, bebas dari kotoran, tidak berminyak dan mengkilap sehingga dapat meningkatkan kualitas hasil pemotretan yang baik.
- Melakukan etsa dengan menggunakan natal pada permukaan benda uji untuk membersihkan sisa – sisa *polisher* pada saat pemolesan. Selain itu juga untuk memunculkan batas butiran permukaan benda uji yang akan diamati, setelah dilakukan etsa, permukaan benda uji dibersihkan dengan aquades, kemudian mengeringkannya dengan *hairdryer*.
- Melakukan pengamatan terhadap permukaan nugget yang telah direparasi dengan menggunakan mikroskop.
- Pemotretan dilakukan dengan menggunakan perbesaran yang 500x
- Hasil pemotretan berupa foto mikrografi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

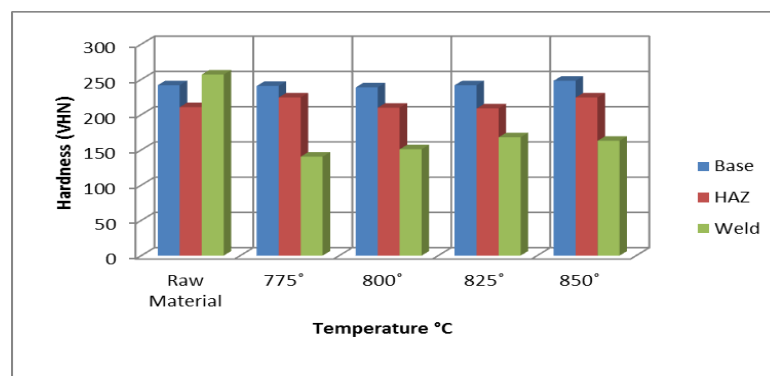
3.1 Uji Kekerasan Baja NP-42

Kekerasan pada komponen baja NP-42 diukur dengan menggunakan metode mikro vikers. Pengujian Vikers VHN merupakan cara yang paling cocok untuk pengujian bahan yang keras. Cara Vikers juga banyak digunakan karena dengan teliti mampu mengetahui kekerasannya.

Pada pengujian ini, identasi dilakukan pada 3 titik dengan beban 200 gr dan menggunakan standar ASTM E 384. Pengujian dilakukan di tiga bagian rel yaitu bagian *base*, *HAZ*, dan *weld*. Perbandingan kekerasan pada non perlakuan dan sesudah mengalami perlakuan panas (*normalizing*). Penormalan dilakukan pada suhu 775°C, 800°C, 825°C, 850°C dengan waktu penahanan pada masing – masing suhu selama 60 menit.

Tujuan dari proses *normalizing* adalah untuk memperoleh baja NP-42 dengan struktur homogen dan butir – butir Kristal yang halus setelah mengalami proses pengelasan thermite. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa semakin luas butir – butir Kristal maka semakin rendah kegetasannya, karena itulah tindakan memperhalus butir adalah tindakan yang sangat tepat dalam usaha memperbaiki kekuatan dan ketangguhan baja ferrite-pearlite.

Hasil pengujian kekerasan pada daerah *Base*, *HAZ*, *Weld* baja NP-42 adalah sebagai berikut :

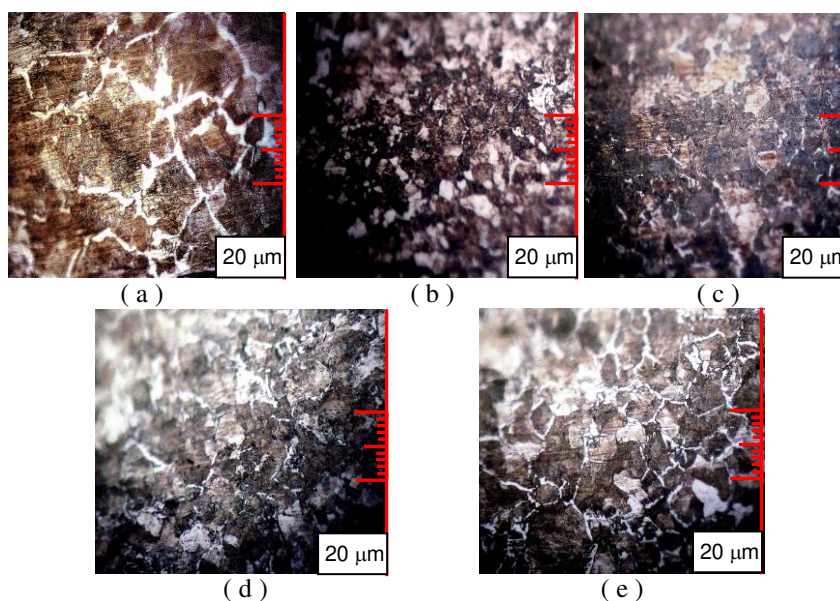


Gambar 8. Perbandingan grafik tingkat kekerasan baja NP-42 terhadap non – perlakuan dan perlakuan *Normalizing* tiap suhu dan daerah

Dari gambar grafik diatas menunjukkan nilai – nilai kekerasan pada tiap daerah *base*, *HAZ* dan *weld*. Untuk raw material, yang menunjukkan baja NP-42 yang belum mengalami proses *normalizing*, memiliki kekerasan yang tinggi sebelum mengalami proses *normalizing* dan memiliki nilai kekerasan yang tinggi serta belum memiliki struktur Kristal yang homogen. Hal tersebut dapat diketahui dari foto mikro serta tampilan grafik diatas yang menunjukkan selisih nilai yang cukup jauh pada setiap daerah.

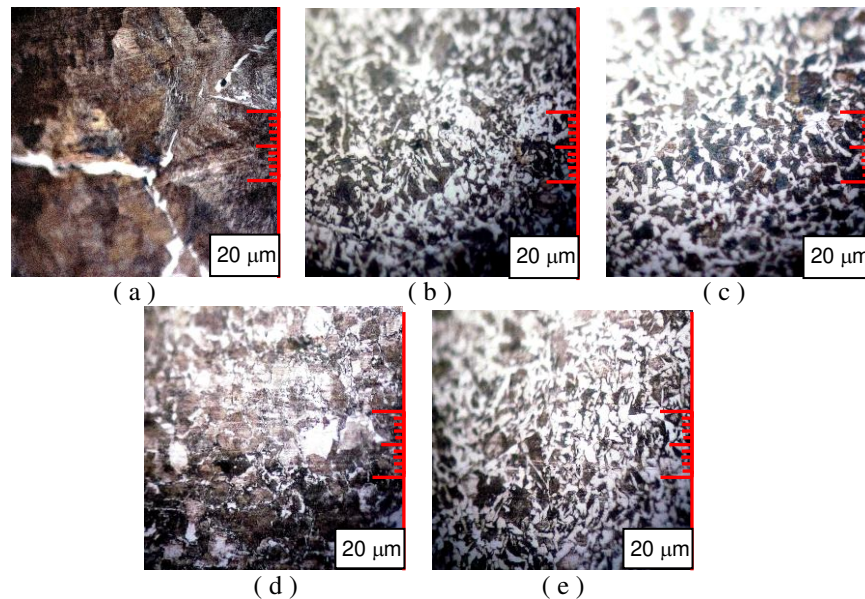
Dari gambar grafik diatas diperoleh bahwa angka kekerasan tertinggi untuk daerah *base metal* pada temperatur 850°C, untuk daerah *HAZ* pada temperatur 850°C, dan untuk daerah *weld metal* pada raw material, namun untuk yang mengalami *normalizing* pada temperatur 825°C.

3.2 Uji Metalografi Baja NP-42



Gambar 9. Struktur Mikro Baja NP-42 perbesaran 500x pada *Base Metal* (a) *Raw Material*, (b) *Normalizing 775°C*, (c) *Normalizing 800°C*, (d) *Normalizing 825°C*, (e) *Normalizing 850°C*.

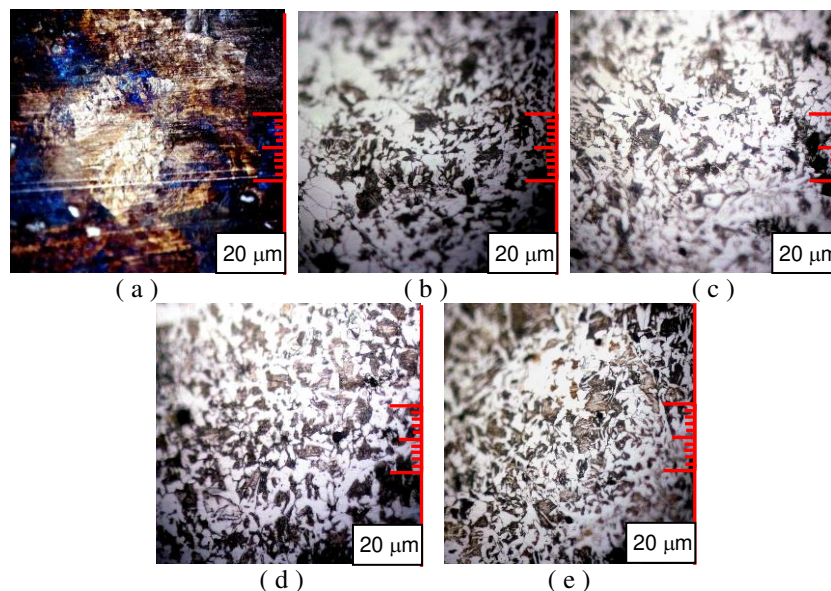
Dari Gambar 9 dapat kita lihat struktur mikro logam dasar baja NP-42 *Raw Material* terdiri dari struktur ferrite dan pearlite. Dimana untuk daerah yang terang yaitu daerah ferrite sedangkan untuk daerah yang gelap yaitu pearlite. Pearlite terdiri dari campuran ferrite dengan karbid besi yang disebut sementit. Pada perbesaran 500x ini menunjukkan struktur pearlitanya, yaitu berbentuk lamellar dimana daerah yang terang adalah ferrite dan yang gelap adalah sementit. Nilai kekerasan baja akan menurun setelah *Normalizing* karena setelah proses *Normalizing* dilakukan struktur mikro yang terjadi adalah fine pearlite, dimana fine pearlite memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan coarse pearlite. Hal ini terbukti dari hasil pengujian kekerasan yang menunjukkan bahwa nilai kekerasan baja NP-42 akan mengalami penurunan setelah *Normalizing*. Gambar 9 (a) diatas terlihat struktur pearlite dan ferrite yang kasar dan tidak homogen. Perbedaan antara baja *Raw Material* dan baja *Normalizing* jelas terlihat dari keseragaman dan kehalusan struktur mikronya.



Gambar 10. Struktur Mikro Baja NP-42 perbesaran 500x pada daerah *HAZ* (a) *Raw Material*, (b) *Normalizing 775°C*, (c) *Normalizing 800°C*, (d) *Normalizing 825°C*, (e) *Normalizing 850°C*.

Berdasarkan Gambar 10, struktur mikro penyusun daerah *HAZ* hampir sama dengan daerah *Base Metal* yaitu terdiri dari struktur ferrite dan pearlite, yang membedakan adalah daerah ferrite yang terbentuk lebih sedikit dan untuk daerah pearlite jumlahnya lebih banyak sehingga untuk foto daerah *HAZ* nampak lebih gelap jika dibandingkan dengan daerah *weld metal*.

Struktur mikro dan sifat mekanik daerah *HAZ* sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari temperature 800°C sampai 300°C. Kekuatan atau kekerasan dalam daerah *HAZ* semakin mendekati batas las akan semakin rendah, sedangkan semakin jauh batas las maka nilai kekerasan daerah *HAZ* nya akan bertambah. Ukuran butir daerah *HAZ* semakin mendekati batas las akan semakin besar, sedangkan jika semakin menjauhi batas las maka ukuran butirannya semakin kecil.



Gambar 11. Struktur Mikro Baja NP-42 perbesaran 500x pada daerah *Weld Metal* (a) *Raw Material*, (b) *Normalizing 775°C*, (c) *Normalizing 800°C*, (d) *Normalizing 825°C*, (e) *Normalizing 850°C*.

Struktur mikro pada Gambar 11 juga hampir sama dengan struktur mikro pada daerah-daerah yang lain namun pada bagian ini terlihat lebih banyak daerah yang terang. Hal ini terjadi karena struktur ferrite yang terbentuk lebih

banyak dibandingkan dengan daerah yang lain. Karena banyaknya struktur ferrite inilah yang menyebabkan daerah las memiliki kekerasan yang lebih rendah dibandingkan daerah *Base Metal* ataupun HAZ.

4. KESIMPULAN

- 1) Dari nilai kekerasan dan struktur mikrografi baja NP-42 sebelum mengalami proses *normalizing* memiliki nilai kekerasan yang tinggi dan belum memiliki struktur kristal yang homogen. Namun setelah mengalami *post weld heat treatment – normalizing* terlihat halusnya butiran dan struktur kristal yang homogen pada baja NP-42.
- 2) Nilai kekerasan material baja NP-42 cenderung mengalami penurunan setelah perlakuan *post weld heat treatment – tempering*. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah *base metal* yaitu pada suhu 850°C (248,1 VHN), kekerasan tertinggi pada daerah *HAZ metal* yaitu pada suhu 775°C (224,4 VHN), kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* yaitu pada suhu 825°C (167,9 VHN). Namun untuk keseragaman nilai kekerasan dari ketiga daerah bagian baja NP-42 (*base metal*, *Haz metal*, *weld metal*) terletak pada suhu 825°C.
- 3) Struktur mikro baja NP-42 menunjukkan pola struktur ferrite dan pearlite. Struktur ferrite dan pearlite terbentuk karena perlakuan pendinginan pelan (*slow cooling*) dengan suhu ideal ruangan. Setelah mengalami pengelasan *thermite* menimbulkan adanya dislokasi dan tegangan sisa pada sambungan las *thermite* baja NP-42. Oleh sebab itu dilakukan *post weld heat treatment – normalizing* untuk meningkatkan homogenitas struktur baja, memperhalus butiran yang mampu meningkatkan keuletan dan ketangguhannya.
- 4) Dari Stuktur foto mikro baja NP-42 terlihat beberapa daerah terang yaitu ferrite, dan gelap yaitu pearlite. Sehingga menunjukkan perubahan struktur material setelah mengalami *normalizing* dengan maksud mengurangi tegangan sisa akibat pengelasan *thermite*.

5. REFERENSI

- [1] Haryadi, G.D, 2007, “Analisa Kerusakan Hasil Pengelasan Bawah Air Pada Lambung Kapal Dengan Bahan Elektroda RB 26 Terselot”, Jurusan Teknik Mesin UNDIP, Semarang
- [2] ASM Team 1993, “ASM Metal Handbook Volume 1 Properties and Selection Irons Steels and High Performance Alloys”, American Society for Metals, The United States of America
- [3] Suci, 2010, “Pengaruh Normalizing Sambungan Las Rel 42 dengan Las Thermite pada Mutu Sambungan”, Semarang
- [4] Setyawati, S.Y, 2011, “Analisa Pengaruh Tegangan Sisa dan Distorsi Pada Pengelasan Butt Joint dan T Joint Dengan Variasi Tebal Plat”, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
- [5] Cary, H.B, 1989, “Modern Welding Technology”. New Jersey: Prentice-Hall
- [6] Saputra, W.A, 2012, “Analisis Pengaruh Aplikasi Post Weld Heat Treatment (PWHT) Pada Pengelasan Cast Steel (SC42) Dengan Carbon Steel (Grade E) Terhadap Sifat Mekanik dan Metalurgi”, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- [7] Lonsdale, C.P, Metallurgical Engineer, Conrail Technical Service Laboratory
- [8] Steele, R. K, 1985, “Field Welding Of Rails”, Association Of American Railroads, Chicago
- [9] O’Brien, R. L, Ed, 1991, “Welding Handbook-volume2”, Eighth Edition, American Welding Society, Miami
- [10] Karmin, Oktober 2009, “Pengendalian Proses Pengerasan Baja Dengan Metoda Quenching”, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang
- [11] T.V. Rajan, C.P. SHARMA dan ASHOK SHARMA. “Heat Treatment Principal and Techniques”, Department of Metallurgical Engineering, Malaysia Regional Engineering College, Jaipur.
- [12] Metal Handbook, 1991, “Properties and Selection Irons, Steels and High Performance Alloys”, Volume 1, American Society for Metals, Ohio
- [13] Sumiyanto dan Abdunnaster, 2001, “Pengaruh Proses Hardening dan Tempering Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Baja Karbon Sedang Jenis SNCM 447”, Institut Sains dan Teknologi, Jakarta
- [14] Aisyah, 2008, “Perubahan Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Padad Pengelasan Drum Baja Karbon Wadah Limbah Radioaktif, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif”, BATAN
- [15] Dieter, G. “Mechanical Metallurgy”, hal 389
- [16] Callister, W.D, 1995, “Material Science and Engineering”, Canada : Willey. Halaman 129-130
- [17] Wijayanto, S.O, 2013, “Analisis Kegagalan Pipa FerruleNickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian Mikrografi dan Kekerasan”, Universitas Diponegoro, Semarang